

Materiaalitutkimus: Tuhka ja massa

Veera Siira

Materiaalitutkimus

Aalto-yliopisto

Taiteiden ja suunnittelun

korkeakoulu

2015 kevät

Sisällys

1	Johdanto.....	3
2	Tavoitteet ja tutkimusongelma	4
	2.1 Tutkimusongelma.....	4
	2.2 Tavoitteet.....	6
3	Menetelmät	7
	3.1 Kuvaus toteutuksesta.....	7
	3.2 Poltto ja sen jälkeiset työt.....	7
	3.3 Lisätutkimus	8
4	Tulokset	9
	4.1 Kaksi toisistaan eroavaa saviseosta.....	10
	4.2 Tuhka sähköllä ja puilla lämmitettävissä uuneissa	11
	4.3 Lisätutkimuksen tuloksia.....	12
5	Johtopäätökset.....	14
	5.1 Rajauksen onnistuminen ja työn luotettavuus	14
	5.2 Johtopäätöksiä tutkimustuloksista ja tavoista	15
	5.3 Tutkimuksen jatkoideoita ja suunnitelmia	16
	Lähteet.....	17

1 Johdanto

Polttaessa puilla poltettavaa keramiikkauunia (myöhemmin puu-uuni) lämpötila kohoaa mahdollisesti jopa yli 1300 °C:een. Polttomateriaalista erittyy kaasuja ja syntynyt tuhka lentää liekkien sekä ilmavirran mukana esineisiin ja niiden ylikin. Lämpötilan noustessa tuhka alkaa sulaa esineiden pinnalle luoden lasimaista pintaa. Tutkimus tarkastelee tuhkan kertymistä keramiikaksi muodostuvaan massaan ja lähtökohtana ovat tuhkan luomat esteettiset ilmiöt keramiikalla.

Tutkimus haluaa syventyä monien pienien vivahteiden hallitsemiseen, joihin puu-uunien vaativuus perustuu. Toki poltto saattaa vaikuttaa päällisin puolin helpolta. Tarvitsehan vain latoa esineitä uuniin. Uunista voi saada onnistumisia vähällä suunnittelulla ja ominaisuuksien selvityksellä. Tässä työssä kiinnitetään kuitenkin huomio poltossa keskenään vaikuttaviin saviseoksiin (myöhemmin massa) ja tuhkaan, eikä niinkään polttamiseen.

Erilaisilla massoilla, tuhkillä ja poltoilla selvitetään hyvin tuhkaa keräävää ja samalla työstöön kohdistuvia tavoitteita vastaavaa massaa. Työhön vaikuttavat oleellisesti ajan määrä ja työvälineen eli puu-uunin toiminta.

2 Tavoitteet ja tutkimusongelma

Puu-uunissa lentävä tuhka kerääntyy massan pinnalle ja tarpeeksi korkeaan lämpötilaan päästyään se sulaa (Kuittinen 2012, 34). Sulamiseen vaikuttavia tekijöitä on monia poltosta massan koostumukseen ja polttoraaka-aineeseen. Tavoitteenani on löytää massalle koostumus, joka erilaisissa puupolttoloosuhteissa keräisi hyvin talteen syntyvää tuhkaa ja mahdollistaisi sen sulamisen. Lähtöoletuksena on, että tuhkan ominaisuudet pysyvät vakioina. Näin voidaan keskittyä tarkastelemaan massojen ominaisuuksia. Tuhkan ominaisuuksien perusteella massalle voidaan asettaa tavoitteita ja karsia tutkittavien massojen määrää. Niitä voidaan rajata myös soveltuvuudella valmistustekniikkaan.

2.1 Tutkimusongelma

Eri puista saatavilla tuhkillla ei ole olemassa täysin yhtenevää koostumusta, johtuen vaihteluista kasvuolosuhteissa ja puulajikohtaisista eroista. (Alakangas 2000). Ympäristön vaikutuksen lisäksi eri puulajit keräävät itseensä erilaisia mineraaleja ja esimerkiksi Salmenhaara toteaa vaihtelevuuden vuoksi tuhkien tarkat analyysit tarpeettomiksi (Salmenhaara 1983, 97). Yleisesti tuhka kuitenkin sisältää oksideja kuten CaO , K_2O , P_2O_5 , MgO , Fe_2O_3 , SO_3 , SiO_2 , Na_2O , Al_2O_3 , TiO_2 (Alakangas 2000, 15), joista esimerkiksi CaO , K_2O ja Na_2O toimivat sulattajina (Jylhä-Vuorio 1992, 96-97; Nakkila Group Company; Salmenhaara 1983; Lawrence ja West 1982).

Salmenhaaralta löytyvässä määritelmässä arvioituja arvoja puutuhkassa ovat SiO_2 30-70%, Al_2O_3 10-15%, K_2O :ta ja Na_2O :a 1-15% sekä CaO :ta 1-30% riippuen tuhkasta (Salmenhaara 1983, 98). Puutuhkat ovat yleensä hyvin emäksisiä johtuen suurista alkali-määristä, kuten esimerkiksi kuusen tuhkassa kalsiumia, kaliumia ja natriumia on jopa noin 70 % (Alakangas 2000, 39), ja ne ovat siksi hyviä sulattajia.

Polttolämpötilan kohotessa tuhka sulaa lasitteen kaltaiseksi lasiksi massan pinnalle kemiallisten ja fysikaalisten reaktioiden seurauksena. Tutkimusongelmana ovat hyvin tuhkaa keräävän massan ominaisuudet. Massan on kestettävä tarpeeksi korkeaa lämpötilaa, sillä vaikka tuhka onkin hyvää sulattajaa, se sulaa vasta noin $1250\text{ }^\circ\text{C}$:ssa (Kuittinen 2012, 34). Lisäksi massan on oltava muovattavaa työstämistä varten.

Polton aikana polttoraaka-aineesta vapautuvat kaasut vaikuttavat tuhkan sulamiseen ja vaikutuksiin massassa sekä polttolämpötilaan. Polttoaineesta ja polttotavasta aiheutuvat reaktiot ja syntyvät aineet vaihtelevat, mutta esimerkiksi hiilidioksidi on yksi palamisen tuote (Alakangas 2012, 13).

Koneella suoritettava muovaus ei aseta massalle jyrkkiä rajoja. Työstöä helpottaa kuitenkin savipitoisuus, jolloin massa on ”pehmeämpää”. Työhön ei synny ”repeilyä niin herkästi”. (Jylhä-Vuorio 1992, 66-67). Puu-uunia ja tuhkan sulamista ajatellen kivitavaramassat voivat olla hyviä tarpeeksi korkean polttolämpötilakestävyytensä ja muovattavuutensa ansiosta.

Mahdollisena keinona massan tuhkaneräävyyden kokeellisten tulosten vertailussa voisi käyttää mineraalikoostumuksien (Salmenhaara 1983, 110-113) vertailuja. Laskemalla massasta mineraalikoostumukset ja vertaamalla niitä massasta suoritettuihin tuhkansulamiskokeisiin voisi tehdä johtopäätöksiä kyseisten raaka-aineyhdistelmien soveltuvuudesta tuhkan keräämiseen. Tuloksista saisi osviittaa, millaisia ominaisuuksia massalla voisi eritellymmmin olla puu-uunipolttoon soveltuvaksi. Toisaalta myös saviseoksen empiiristä kaavaa voisi hyödyntää suhteita vertaillen kuten mineraalitutkimuksessa.

2.2 Tavoitteet

Tutkimus liikkuu hyvin kokeellisella materiaalitutkimuksen alueella. Keramiikkapuu-uuni itsessään sisältää todella monia välillä hallitsemattomiakin tekijöitä, jolloin tasaisen varman tulossarjan tuottaminen on lähes mahdotonta. Tavoitteena on hyvän massan löytämisen lisäksi laajentaa omaa osaamista materiaalista ja työprosessista. Työ perustuu valmiiksi olevaan tietoon ja sen perusteella tehtyihin päätelmiin. Toisena tutkimuslinjana on kokeilun kautta saavutettava tieto.

Tutkimuksellisesti haastavaa on tuhkan tarttumisen mittaaminen. Kaikki tuhkan mittauksissa perustuu oletuksiin ja massakokeista saatuihin havaintoihin. Havainnoinnin kautta saatua tietoa voidaan kuitenkin verrata esimerkiksi Jack Troyn kokoamaan tietoon keramiikkapuu-uunimassoista ja lasitteista sekä poltosta. Muissakin lähteissä natriumkarbonaatin ja kaliumkarbonaatin todetaan auttavan sulattamisessa kuten myös rautaoksidin. Troylla massalle tärkeä tekijä sulamisen kannalta on maasälpä sopivassa suhteessa, jottei massassa tapahtuisi eutektiaa ja sulamista liian alhaisessa lämpötilassa. (Troy 1995, 96, 97, 115, 116)

Maasälpä näyttäisi luonnollisesti sopivan massoihin, koska sen koostumus $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ (Jylhä-Vuorio 1992, 49) sisältää juuri natriumoksidia tai kaliumoksidia riippuen maasälpälajista. Kaikki kuitenkin riippuu aineiden välisistä suhteista, kuten Troy toteaa (Troy 1995, 97), joten tavoitteena on löytää suhteiltaan hyvä ja toimiva massa.

3 Menetelmät

Tutkimuksen oleellinen osa ”Mikä keramiikkamassa keräisi mahdollisimman hyvin itseensä tuhkaa?” tarvitsee mittaus- ja vertailumenetelmän, jona tässä tutkimuksessa toimii suuntaa antava vertailu massan mineraalien suhteista. Aiempien kokemusten perusteella tutkittavaksi valituista kahdesta massasta lasketaan mineraalikoostumukset, joita verrataan toisiinsa ja muuhun aiheesta kerättyyn tietoon. Lisäksi tutkimus toimii kokeellisesti tarkastelemalla dreijattuja keramiikkakuppeja, joita on sijoitettu puu-uuniin ja sähköuuniin tuhalla ja ilman tuhkaa sen sulamisen tarkkailemiseksi.

3.1 Kuvaus toteutuksesta

Suunnittelussa tärkeä aihe oli tuhkan mittaustavan mietintä, joka johti kahdesta massasta valmistettuihin koekuppeihin, joihin tuhka sijoitettiin. Mittaustapaa hyödynnettiin molemmissa sähkö- ja puu-uunissa, jotta tuhkan sulamisen ja tarttumisen eroja voitiin vertailla. Sulkemalla tuhka kuppiin oli mahdollista mitata tuhkamäärä punnitsemalla. Lisäksi polttoa suoritettaessa tuhka ei lähtisi leijailemaan. Tuhka punnittiin uudestaan polton jälkeen, jotta massojen tuhkan sulattavuutta voitiin verrata keskenään.

Dreijatut koekupit raakapoltetiin ja niihin mitattiin kahta eri tuhkaa, mäntyä ja omenapuuta, kahdella eri painolla, 25 ja 12,5 grammalla. Massoina olivat Salmenhaaran K112 ja U10a. Lisäksi puu-uuniin sijoitettiin kolme koepalaa molempia massoja tyhjinä ilman kantta, jotta voitiin verrata puu-uunin tuottaman tuhkan sulamista ja kertymistä massoille. K112 ja U10a:sta laskettiin mineraalimäärät.

3.2 Poltto ja sen jälkeiset työt

Polttoprosessissa työvälineen, puu-uunin, kanssa ilmeni haasteita myös luonnonvoimien osalta. Lämpötila jäi tavoitteesta pysyen noin 1150 °C:een yläpuolella 1200 °C:ta saavuttamatta (LIITE 2). Sähköuunipoltto oli onnistunut 1240 °C:een poltto kahden tunnin haudutuksella (LIITE 3). Sähköuuniin oli sijoitettuna 8 kuppia. 4 kummastakin massasta kahdella eri tuhalla ja kahdella eri painolla. Puu-uuniin tuli kolmeen kerrokseen jokaiseen 8 kuppia samoilla sekoituksilla kuin sähköuunissakin ja lisäksi kolme tyhjää kuppia kummastakin massasta, siis kaikkiaan 30 kuppia.

Koekupeissa oleva tuhkan paino mitattiin ja tuloksia verrattiin toisiinsa. Lisäksi näytteet valokuvattiin. Tuhkaa mitatessa tehtiin huomioita vaihtelevasta koostumuksesta. Dokumentointi painottui kuppeihin, joissa tuhkaa oli, mutta myös kansista otettiin muutamia kuvia niihin syntyneistä vaikutuksista (LIITE 8). Niistä näki tuhkan kulkeutumisen kanniin, jolloin on syntynyt lasia.

Saman massan ja saman tuhkan vertaamisesta saatiin tietoa massan tuhkan vastaanottavuudesta. Toinen tuhkalaatu otettiin mukaan, jotta nähtäisiin erilaisten tuhkien vaikutus massoilla. Tuhkan määrän vaihtelulla pyrittiin tarkastelemaan tuhkan kertymisen aiheuttamia vaihteluja. Lopuksi eri massoja verrattiin toisiinsa, jotta päästäisiin kohti tutkimuksen ydinkysymystä otollisesta massasta tuhkan kerääjänä.

3.3 Lisätutkimus

Ensimmäisten koekuppien ja tuhkien mittausten jälkeen oli valittava vielä kaksi eroavampaa massaa, koska aiemmat tulokset olivat hyvin yhteneväisiä. Neljän massan tutkimisen tarkoituksena oli varmentaa tehtyjä päätelmiä. Johtuen ajan vähäisyydestä uudet massat testattiin vain sähköuunissa. Koepalojen rakenteeseen ei puututtu.

Uudet massat K101 ja K11M taulukossa 1 olivat mahdollisimman eroavia. Kaoliinin määrä ei vaihdellut. Sen sijaan maasälvän, pallosaven, kvartsin ja punasaven määrät erosivat toisistaan suuresti. K101:den koostumus on perinteinen posliinimassa. K11M sisältää paljon, jopa puolet savea.

Taulukko 1. Massakaavat

	U10a	K112	K101	K11M
Kaoliini Grolleg	50 %	35 %	50 %	50 %
Maasälpä	20 %	20 %	25 %	
Pallosavi	10 %	30 %		40 %
Kvartsi	20 %	15 %	25 %	
Punasavi				10 %

Salmenhaara

4 Tulokset

Työn tulokset kuvaavat tuhkan sulamista keramiikkapinnalle puu-uunissa ja sähköuunissa. Tärkeää huomioitavaa koekuppien lopputuloksissa ovat polttolämpötilat puu-uunin ja sähköuunin polttojen loppulämpötilan eroavaisuuden vuoksi. Siitä huolimatta koekupit antavat osviittaa tuhkan käyttäytymisestä U10a ja K112 massoilla ja vastavasti massojen tuhkan vastaanottavuudesta. Vastaanottavuutta voidaan tarkastella koekuppien kansista, joihin on tuhkan seurauksena muodostunut lasia. Lisäksi tutkimuksesta käy selkeämmin esille kahden eri tuhkan sulamiskäyttäytyminen massojen pinnoilla.

4.1 Kaksi toisistaan eroavaa saviseosta

Savimineraalin painoyksikköä hyödyntämällä voi suunnilleen arvioida massan polttolämpötilaa kuitenkin kokonaisuuden huomioiden. Saven sisältämät erilaiset muuttujat kuten rautaoksidi voivat vaikuttaa esimerkiksi sulattavasti korkeasta savimineraalimäärästä huolimatta. (Salmenhaara 1983, 110). Tässä mineraalilaskua hyödynnetään tarkastelemalla kokonaisuutta ja tarkemmin kalimaasälvän määrää sulattavana ominaisuutena. Sulamisen kautta tutkimus ajattelee massan olevan tuhkaa vastaanottavampaa.

Raaka-aineista prosenttiyksiköllisinä erotteluina U10a sisältää enemmän kaoliinia ja vähemmän pallosavia sekä kvartsia kuin K112. Tuhkan vastaanottamisen kannalta savet tekee mielenkiintoisiksi niiden yhteneväinen prosentuaalinen maasälpämäärä, 20 %. (Taulukko 1). Savimineraaleja laskiessa K112 sisältää kuitenkin enemmän kalimaasälpä-mineraalia painoyksiköllisesti (Taulukko 2). Koepaloja ja niihin jääneen palamatoman materiaalin painoa (LIITE 17) tarkastellessa näyttäisi, että K112 on sulattanut tuhkaa paremmin. Ainakin U10a:han on jäänyt kaikkien koekuppien tuhkat yhteen laskeen 1,9 grammaa enemmän tuhkaa. Voisi positiivisesti arvioida suuremman kali ja natronmaasälvän mineraalilukujen tarkoittavan massan parempaa sulattamista.

Taulukko 2. Massojen mineraalierittelyt. Katso myös liitteet 15-18.

Massa	Kali- maasälpä mineraali	Natron- maasälpä mineraali	Savimineraali	Kvartsimineraali	Rautamineraali
K11M	15,012	3,563	70,629	6,692	1,888
K112	17,236	9,432	50,826	20,826	0,64
K101	16,124	10,7944	44,737	27,636	0,48
U10a	15,568	8,908	50,826	23,58	0,48

4.2 Tuhka sähköllä ja puilla lämmitettävissä uuneissa

Puu-uunipolton eroja sähköuuniin ovat pelkistyminen ja palokaasut, sekä pitkä haudutusaika. Sähköuuniakin voi hauduttaa, mutta on ekologisempaa laskea polttolämpötila mahdollisimman nopeasti alas. Puu-uunin rakenteesta riippuen haudutus tulee osittain palamisen jatkumisesta korkeimman lämpötilan saavutettua. Koepalojen tuhkaa vertaillessa voi huomata sähköuunioloissa omenapuun tuhkan palaneen vaaleansinisemmäksi kenties pelkistyksen puutteesta mahdollisesti kuparioksidin (CuO) (Jylhä-Vuorio 1992, 162) tuottamana. Toisaalta on huomioitava, ettei puu-uuni saavuttanut samaa korkeutta lämpötilallisesti, joten väriä ei ehkä ole ehtinyt syntyymään omenapuun tuhkaan.

Toisena vahvana värinä on mäntytuhkissa oleva mustan ruskeahko sävy, joka on mahdollisesti tullut raudan pelkistymisestä (Jylhä-Vuori 1992, 157-160). Toisaalta sama sävy esiintyy myös sähköuunipoltossa (LIITE 8). Tuhkat ovat vaikuttaneet eri tavoin värjäävästi massan pintaan luoden omenapuutuhkassa puu-uunissa ruskeahkoja sävyjä sekä vaaleaa lasikupruilua. Mäntytuhkassa puu-uunissa violettiin meneviä tummia sävyjä pienillä, mutta mahdollisesti kaliumoksidin vahvistamilla turkoosin (Salmenhaara 1983, 61) vivahteilla. Silmämääräisesti arvioiden molemmat massat vaikuttavat luoneen kansiin ja tuhkakasan ympärille kupposiin tuhkan kanssa reagoidessaan hieman lasia tai ylipäättään reagoineet poltossa.

Massakokeissa kuppien päällä olleet kannet tulivat myös hyvin mielenkiintoisiksi. Osa kupeista tuli niin täyteen tuhkasta, että tuhka osui kanteen. Koska tuhka ei päässyt poltossa tarvitsemaansa lämpötilaan sulaakseen, alkava sulaminen sai mureaksi muuttuneet kökkäreet tarttumaan kansiin (LIITE 11). Kaikissa kupeissa osa tuhkasta oli lähtenyt höyrystymään luoden jälkiä kansiin (LIITE 12 ja 13). Höyryissä voi nähdä olleen sulattavia aineita, sillä kansien höyrykohdissa on havaittavissa massan pidemmälle edennyttä sintraantumista. Tästä saattoi tarkastella massan tuhkan vastaanottavuutta.

4.3 Lisätutkimuksen tuloksia

Laajentaakseen tutkimuksen materiaalia toteutettiin siis vielä kaksi uutta suuremmin eroavaa massaa. Esimerkiksi rajaava tekijä, eli koneella muovaamisen ominaisuus jätettiin pois. Massoiksi valittiin massat K101 ja K11M. Eroavat ominaisuudet (Taulukko 1.) näkyivät myös mineraalilaskelmissa (Taulukko 2.) ja lopputuloksissa.

Posliinimassaksi luokiteltava K101 sisälsi koemassoista kaikista eniten natronmaasälpää ja yhteensä eniten kali- ja natronmaasälpää. Myös kvartsimineraalia oli eniten neljästä. Savi- ja rautamineraaleja oli vähiten. (Taulukko 2). Oli kiinnostavaa huomata massan haihduttaneen ja sulattaneen kaikista voimakkaimmin astiassa ollutta tuhkaa (LIITE 20). Se näkyi myös astioiden pohjissa, reunoissa ja kansissa.

K11M sisälsi huomattavan paljon savimineraaleja ja rautamineraalia. Samalla siinä oli kaikkein vähiten kali- ja natronmaasälpämineraaleja sekä kvartsimineraalia. (Taulukko 2). Massan tuloksissa oli nähtävissä tutkimuksen epävarmuus. Olisi voinut odottaa, että K11M olisi huono tuhkansulamisaikana, koska siinä on niin vähän kalimaasälpä- ja natronmaasälpämineraaleja. Se olikin, mutta vain mäntytuhkalla kun taas omenatuhkalla se toimi toiseksi parhaiten sulamisen kannalta (LIITE 20).



Kuva 1. Vasemmalta oikealle massat U10a, K112, U10a, K112 ja vasemmalta oikealle tuhkat omena, omena, mänty, mänty. Alimmalla rivillä on sähköpoltettuja koekuppeja.



Kuva 2. Koepalat ilman kantta ja tuhkaa. Massat vasemmalta U10a ja K112.

5 Johtopäätökset

Tutkimus on toiminut oppitunteina keramiikan moninaisuudesta. Työn suurimmat riskit koskevat työvälinettä ja sen toimintaa. Puu-uunin toiminnan vaihtelevuuden lisäksi haasteena on uunin täyteen saaminen ja polttokuntoon tarvittava esinemäärä. Koepalojen toteutukseen käytetty uuni on pienikokoinen puu-uuni ja silti sisään mahtuu tavaraa noin kuution edestä. Tutkimukseen tuli monia muutoksia ajallisten ja työvälineiden haasteiden johdosta. Esimerkiksi tulosten vertailu kärsi puu-uunipolton lämpötilan jäädessä liian alhaiseksi, jonka näkee erojen heikkoudesta kuvassa 2. Alkuperäinen tutkimus massan tuhkan keräävyydestä muotoutui sisältämään myös kahden tuhkan sulamisen erilaisuuden kuten kuvasta 1 voi nähdä värieroja. Johtopäätöksenä tuhkan tarttumista pintaan edesauttaa massan hyvät sulattamisominaisuudet.

5.1 Rajauksen onnistuminen ja työn luotettavuus

Kokeellinen tutkimus alkoi aiheen miettimisellä. Kiinnostukseni keramiikan valmistamiseen puu-uunissa polttamalla antoi aiheen tuhkan tarttumisesta massaan. Perehtyminen alkoi jo tiedossa olevista lähteistä. Niiden hankinta ja perehtyminen ovat jatkuneet koko tutkimuksen ajan. Lähteitä ei löytynyt valtavasti, mutta eri lähteet tukivat tiedollisesti toisiaan, mikä toi tietoon varmuutta. Lisäksi oli kaksi toisistaan eroavaa tietolinjaa. Ensimmäinen oli kiinteästi keramiikan parista ja toinen linja löytyi polttoaineiden tutkimuksista.

Varsinaisesta tuhkan mittaamisesta massan pinnalta löytyi vähäisen ennestään tuotettua tutkimusta. Keramiikkapuu-uuneja ja niiden polttamista tai vaikutuksia käsittelevät teokset saattoivat sivuta tuhkan tarttumista massaan, mutta sen tarkempaa tutkimista ei tunnutta pitävän oleellisena. Painotus vaikutti olevan kokeellisuudessa ja kokeilemisen kautta löytämisessä sekä perinteiden kautta kulkevan tiedon hallitsemisessa. Siksi aineisto ei pitäydy vain keramiikkapuu-uunilla polttamisessa, jotta tietoa löytyisi tarkemmin tuhkaa koskeviin kysymyksiin.

Aineiston keräämisen alettua heräsi epäily aiheen mahdollisesta muokkaamista tai vaihtamisesta, sillä tutkimuksia löytyi ensi alkuun hyvin vähäisen. Työn kokoamisesta tulee mieleen palapeli, joka kasautuu tiedonjyvistä. Aineisto ei puu-uunin käsittelyssä ollut ainoa haaste, vaan itse työvälineen käsittely ja siihen kuluva aika. Työn lopputuloksista onkin nähtävissä tutkimustyön ajan vähäisyys neljästä testatusta massasta ja yhdestä puu-uunipoltosta. Voi todeta puu-uunin polttamiseen vaadittavan tutkimuksellisesti runsaasti enemmän aikaa, sillä aina voi tapahtua esimerkiksi ilmastollisesti haastavia tilanteita kuten kovan tuulen nouseminen ja siitä seuraava tulipalovaara.

5.2 Johtopäätöksiä tutkimustuloksista ja tavoista

Vähäisen aineiston pohjalta oli haastavaa löytää tapaa mitata massan tuhkan kerävyysominaisuuksia. Siksi päädyin johtopäätökseen tutkia massan tuhkan kerävyttä sijoittamalla tuhkaa koekuppeihin, joihin laitettiin kannet. Tuhkan sulamismäärästä voitaisiin päätellä, kuinka hyvin massa sulattaa tuhkaa. Testi ei kuitenkaan tarjonnut vastausta pääkysymykseen, kuinka hyvin massaan tarttuisi tuhkaa. Ainoa, mistä tuhkan tarttuvuutta koekupeissa saattoi tarkkailla, oli kansiin muodostunut lasi (LIITE 12,13). Se saattoi olla seurausta myös tuhkan tuottamista kaasuista, jotka olivat sulattaneet massaa.

Tutkimuksellisesti syntyneen aineiston perusteella ei kerennyt syntyä suoranaista loppupäätelmää ihanteellisesta tuhkaa keräävästä massasta tai sitä mittaavasta työtavasta. Kali- ja natronmaasälpämineraalien määrien vertailulla K101-massa toimii parhaiten sulattavana. Massan koekupeista oli poistunut prosentuaalisesti eniten tuhkaa (LIITE 20). Silti koemenetelmä ja laajuus jättävät lopputuloksen avoimeksi, mutta antavat tietoa esimerkiksi kahden tuhkan eroavasta sulamisesta eri massoilla.

5.3 Tutkimuksen jatkoideoita ja suunnitelmia

Olisi kiinnostavaa jatkaa massojen tuhkan vastaanottavuuden vertailua. Tutkimuksessa huomioitavia alueita voisi laajentaa ja syventää jo käsiteltyjä alueita. Mietteitä tuhkan sulamiskokeen toistamisesta erilaisin muodoin tai vaihtamalla kannen ja kupin roolin ylösalaisin on ollut jo. Laittamalla tuhkaa suoralle levylle ja kuvun sen päälle levy voisi pysyä suuremmassa ja sulamispintaa voisi olla helpompi tutkia.

Olisi mielenkiintoista tutkia laajemmin erilaisia massoja ja niiden tuloksia sekä verrata niitä mineraalien laskutuloksiin. Lisäksi edessä olisivat monet kokeet puu-uunilla. Sijoittelun, polttokaasujen ja ilmavirran sekä monen muun tekijän tuomat vaihtelut tuovat paljon tutkittavaa. Tutkimusta voisi jatkaa polton tasaisuuden ja polton vaihtelevuuden seurannalla vertaamalla toisiinsa puu-uunissa ja sähköuunissa tapahtuvaa.

Ihannemassan etsiminen jatkuu vielä.

Lähteet

Alakangas, E. (2000). VTT Tiedotteita 2045 - Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>>. 02.04.2015.

Jylhä-Vuorio, H. (1992). Keramiikan materiaalit, sivut. VAPK-Kustannus, Opetushallitus, Helsinki.

Kusakabe, M. & Lancet, M. (2005). Japanese Wood-Fired Ceramics, 51. kp books, Iola.

Kuittinen, T. (2012). Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Teknillinen tiedekunta. LUT Energia. BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari. Biopolttoaineiden ominaisuudet, 34. <<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/88854/Biopolttoaineiden%20ominaisuudet.pdf?sequence=1>>. 02.04.2015.

Lawrence, W. G. & West, R. R. (1982). Ceramic Science for the Potter Second Edition, sivut. Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania.

Nakkila Group Company. Boilers. <<file:///C:/Users/Riitta/Downloads/Kuittinen%20Nakkila%20boilers.pdf>>. 02.04.2015>.

Salmenhaara, K. (1983). Keramiikka – Massat, Lasitukset, Työtavat. Otava, Helsinki.

Troy, T. (1995). Wood-Fired Stoneware and Porcelain. . Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania.

LIITE 1 Puu-uunipolton keilat

Vasemmalta

Seger 07a (970°C), 05a
(1000°C) ja Orton 03
(1101°C).



Vasemmalta Orton 1
(1154°C) ja Seger 5a (1215
°C), 6a (1240 °C) ja 7 (1260
°C).



Sekä Orton 10 (1305 °C).



LIITE 2 Sähköuunipolton keilat

Vasemmalta Orton 9 (1280°C), 10 (1305°C), 11 (1315°C), 12 (1326°C).



LIITE 3 Puu-uunikoekupit 1



Nro 1. Massa U10a, tuhka omena 12,5 g.



Nro 2. Tuhka poistettu.



Nro 3. Massa K112, tuhka omena 12,5g.



Nro 4. Tuhka poistettu.

LIITE 4 Puu-uunikoekupit 2



Nro 5. Massa U10a, tuhka omena 25 g.



Nro 6. Tuhka poistettu.



Nro 7. Massa K112, tuhka omena 25 g.



Nro 8. Tuhka poistettu.

LIITE 5 Puu-uunikoekupit 3



Nro 9. Massa U10a, tuhka mänty 12,5 g.



Nro 10. Tuhka poistettu.



Nro 11. Massa K112, tuhka mänty 12,5 g.



Nro 12. Tuhka poistettu.

LIITE 6 Puu-uuni koekupit 4



Nro 13. Massa U10a, tuhka mänty 25 g.



Nro 14. Tuhka poistettu.



Nro 15. Massa K112, tuhka mänty 25 g.



Nro 16. Tuhka poistettu.

LIITE 7 Sähköuuni koekupit 1



Nro 17. Massa U10a, tuhka omena 12,5 g.



Nro 18. Tuhka poistettu.



Nro 19. Massa K112, tuhka omena 12,5 g.



Nro 20. Tuhka poistettu.

LIITE 8 Sähköuunikoekupit 2



Nro 21. Massa U10a, tuhka mänty 12,5 g.



Nro 22. Tuhka poistettu.



Nro 23. Massa K112, tuhka mänty 12,5 g.



Nro 24. Tuhka poistettu.

LIITE 9 Puu-uuni koekupit 5

Nro 25. Massa U10a, ei tuhkaa.



Nro 26. Massa K112, ei tuhkaa.



LIITE 10 Puu-uuni koepalat 6



Nro 27. Massa U10a, tuhka omena 25 g.



Nro 28. Tuhka poistettu.



Nro 29. Massa K112, tuhka omena 25 g.



Nro 30. Tuhka poistettu.

LIITE 11 Puu-uuni koekupit 7



Nro 31. Massa U10a, tuhka mänty 25 g.



Nro 32. Tuhka poistettu.



Nro 33. Massa K112, tuhka mänty 25 g.



Nro 34. Tuhka poistettu.

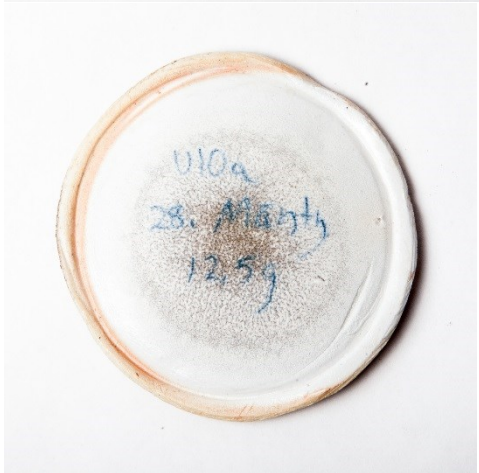
LIITE 12 Puupoltto koekannet 1



Numeon 1 kansi.



Numeon 3 kansi.



Numeon 5 kansi.

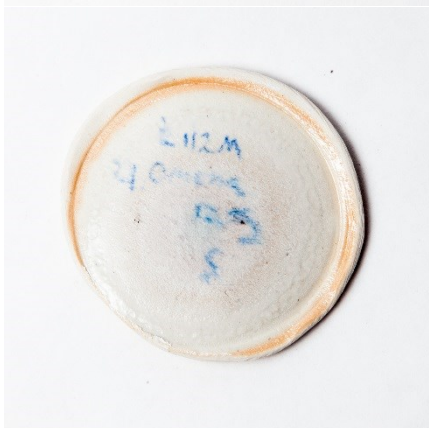


Numeon 7 kansi.

LIITE 13 Sähköpoltto koekannet 1



Numeron 17 kansi.



Numeron 19 kansi.



Numeron 21 kansi.



Numeron 23 kansi.

LIITE 14 Mineraalilaskelmat

Mineraalilaskelmat	U10a	K112	K101	K11M
Kalimaasälpämineraali	15,568	17,236	15,012	16,124
Natronmaasälpämineraali	8,908	9,432	3,563	10,7944
Savimineraali	50,826	50,826	70,692	44,737
Kvartsimineraali	23,58	20,82	6,672	27,636
Rauta	0,48	0,64	1,888	0,48

LIITE 15 Mineraalilaskelmat U10a

	Kaoliini Grolleg $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		Hymod A1*		Kalimaasälpä $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$		Kvartsi SiO_2		
	%	$\frac{\% \times 50}{100}$	%	$\frac{\% \times 10}{100}$	%	$\frac{\% \times 20}{100}$	%	$\frac{\% \times 20}{100}$	
SiO ₂	48,90	24,45	55,00	5,50	67,30	13,46	100	20,00	63,41:60=1,057
Al ₂ O ₃	36,00	18,00	29,00	2,90	19,10	3,82			24,72:102=0,242
Fe ₂ O ₃	0,75	0,375	1,40	0,14	0,10	0,02			0,535:160=0,003
MgO	0,30	0,15	0,40	0,04	0				0,19:40=0,005
CaO	0,06	0,03	0,20	0,02	1,00	0,20			0,25:56=0,004
K ₂ O	1,85	0,925	2,90	0,29	7,20	1,44			2,655:94=0,028
Na ₂ O	0,10	0,05	0,40	0,04	4,90	0,98			1,07:62=0,017

	SiO ₂ 1,057	Al ₂ O ₃ 0,242	Fe ₂ O ₃ 0,003	K ₂ O 0,028	Na ₂ O 0,017
Kalimaasälpä 0,027 $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	0,168	0,028		0,028	
	0,889	0,214		0,00	
Natronmaasälpä 0,0068 $6\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$	0,102	0,017			0,017
	0,787	0,197			0,00
Savimineraali 0,21 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	0,394	0,197			
	0,393	0,00			
Kvartsi 0,1112 SiO_2	0,393				
	0,00				
Rauta 0,0118 Fe_2O_3			0,003		
			0,00		

Kali-

maasälpämineraali $0,028 \times 556 = 15,568$ Natronmaasälpä $0,017 \times 524 = 8,908$ Savimineraali $0,197 \times 258 = 50,826$ Kvartsimineraali $0,393 \times 60 = 23,58$ Rauta, Fe₂O₃ $0,003 \times 160 = 0,48$

LIITE 16 Mineraalilaskelmat K112

	Kaoliini Grolleg $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		Hymod A1*		Kalimaasälpä $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$		Kvartsi SiO_2		
	%	$\frac{\% \times 35}{100}$	%	$\frac{\% \times 30}{100}$	%	$\frac{\% \times 20}{100}$	%	$\frac{\% \times 15}{100}$	
SiO ₂	48,90	17,115	55,00	16,50	67,30	13,46	100	15,00	62,075:60=1,035
Al ₂ O ₃	36,00	12,60	29,00	8,70	19,10	3,82			25,12:102=0,246
Fe ₂ O ₃	0,75	0,2625	1,40	0,42	0,10	0,02			0,7025:160=0,004
MgO	0,30	0,105	0,40	0,12	0				0,225:40=0,0056
CaO	0,06	0,021	0,20	0,06	1,00	0,20			0,281:56=0,005
K ₂ O	1,85	0,6475	2,90	0,87	7,20	1,44			2,9575:94=0,031
Na ₂ O	0,10	0,035	0,40	0,12	4,90	0,98			1,135:62=0,018

	SiO ₂ 1,035	Al ₂ O ₃ 0,246	Fe ₂ O ₃ 0,004	K ₂ O 0,031	Na ₂ O 0,018
Kalimaasälpä 0,027 $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	0,186	0,031		0,031	
	0,849	0,215		0,00	
Natronmaasälpä 0,0068 $6 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$	0,108	0,018			0,018
	0,741	0,197			0,00
Savimineraali 0,21 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	0,394	0,197			
	0,347	0,00			
Kvartsi 0,1112 SiO_2	0,377				
	0,00				
Rauta 0,0118 Fe_2O_3			0,004		
			0,00		

Kali-

maasälpämineraali $0,031 \times 556 = 17,236$ Natronmaasälpä $0,018 \times 524 = 9,432$ Savimineraali $0,197 \times 258 = 50,826$ Kvartsimineraali $0,347 \times 60 = 20,82$ Rauta, Fe₂O₃ $0,004 \times 160 = 0,64$

LIITE 17 Mineraalilaskelmat K11M

Kaoliini Grolleg $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$			Hymod A1*		Punasavi		
%	$\frac{\% \times 50}{100}$	%	$\frac{\% \times 40}{100}$	%	$\frac{\% \times 10}{100}$		
SiO ₂	48,90	24,45	55,00	22,00	52,90	5,29	51,74:60=0,862
Al ₂ O ₃	36,00	18,00	29,00	11,60	18,00	1,80	31,40:102=0,3078
Fe ₂ O ₃	0,75	0,375	1,40	0,56	9,60	0,96	1,895:160=0,0118
MgO	0,30	0,15	0,40	0,16	3,50	0,35	0,66:40=0,0165
CaO	0,06	0,03	0,20	0,08	1,60	0,16	0,27:56=0,0048
K ₂ O	1,85	0,925	2,90	0,16	4,50	0,45	2,535:94=0,027
Na ₂ O	0,10	0,05	0,40	0,16	2,10	0,21	0,42:62=0,0068

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
	0,862	0,3078	0,0118	0,027	0,0068
Kalimaasälpä 0,027 $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	0,162	0,027		0,027	
	0,7	0,2808		0,00	
Natronmaasälpä 0,0068 $6 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$	0,0408	0,0068			0,0068
	0,6592	0,274			0,00
Savimineraali 0,21 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	0,548	0,274			
	0,1112	0,00			
Kvartsi 0,1112 SiO ₂	0,1112				
	0,00				
Rauta 0,0118 Fe ₂ O ₃			0,0118		
			0,00		

Kalimaasälpämineraali $0,027 \times 556 = 15,012$

Natronmaasälpä $0,0068 \times 524 = 3,563$

Savimineraali $0,274 \times 258 = 70,692$

Kvartsimineraali $0,1112 \times 60 = 6,672$

Rauta, Fe₂O₃ $0,0118 \times 160 = 1,888$

LIITE 18 Mineraalilaskelmat K101

	Kaoliini Grolleg Al2O3·2SiO2·2H2O		Kalimaasälpä K2O·Al2O3·6 SiO2		Kvartsi SiO2		
	%	$\frac{\% \times 50}{100}$	%	$\frac{\% \times 25}{100}$	%	$\frac{\% \times 25}{100}$	
SiO2	48,90	24,45	67,30	16,825	100	25,00	66,275:60=1,105
Al2O3	36,00	18,00	19,10	4,775			22,775:102=0,223
Fe2O3	0,75	0,375	0,10	0,025			0,4:160=0,003
MgO	0,30	0,15	0				0,15:40=0,004
CaO	0,06	0,03	1,00	0,25			0,28:56=0,005
K2O	1,85	0,925	7,20	1,80			2,725:94=0,029
Na2O	0,10	0,05	4,90	1,225			1,275:62=0,0206

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
	1,105	0,223	0,003	0,029	0,0206
Kalimaasälpä 0,027 $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	0,174	0,029		0,029	
	0,931	0,194		0,00	
Natronmaasälpä 0,0068 $6 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$	0,1236	0,0206			0,0206
	0,8074	0,1734			0,00
Savimineraali 0,21 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	0,3468	0,1734			
	0,4606	0,00			
Kvartsi 0,1112 SiO_2	0,4606				
	0,00				
Rauta 0,0118 Fe_2O_3			0,003		
			0,00		

Kalimaasälpämineraali $0,029 \times 556 = 16,124$

Natronmaasälpä $0,0206 \times 524 = 10,7944$

Savimineraali $0,1734 \times 258 = 44,737$

Kvartsimineraali $0,4606 \times 60 = 27,636$

Rauta, Fe₂O₃ $0,003 \times 160 = 0,48$

LIITE 19 Jäljelle jäänyt palamaton aine

Nro	Massa	Tuhka	Määrä	Sulamaton / haihtumaton aines	Sulanut / haihtunut aines %
1	U10a	Omena	12,5 g	7,5 g	40,0
5	U10a	Omena	25 g	14,6 g	41,6
17	U10a	Omena	12,5 g	7,7 g	38,4
27	U10a	Omena	25 g	15,6 g	37,6
3	K112	Omena	12,5 g	7,3 g	41,6
7	K112	Omena	25 g	15,6 g	37,6
19	K112	Omena	12,5 g	7,6 g	39,2
29	K112	Omena	25 g	14,6 g	41,6
9	U10a	Mänty	12,5 g	7,1 g	43,2
13	U10a	Mänty	25 g	14,4 g	42,4
21	U10a	Mänty	12,5 g	6,8 g	45,6
31	U10a	Mänty	25 g	14,0 g	44,0
11	K112	Mänty	12,5 g	6,9 g	44,8
15	K112	Mänty	25 g	13,6 g	45,6
23	K112	Mänty	12,5 g	6,8 g	45,6
33	K112	Mänty	25 g	13,8 g	44,8
25	U010a	Ei tuhkaa		0,4 g	
26	K112	Ei tuhkaa		0,2 g	

Yhteenlaskettuna U10a 88,1 g sulamatonta tuhkaa

ja K112 86,4 g sulamatonta tuhkaa.

$$88,1 - 86,4 = 1,9 \text{ g}$$

LIITE 20 Sähköpoltto II 1250 °C, 20 minuuttia haudutus

Nro	Massa	Tuhka	Määrä	Sulamaton / haihtumaton aines	Sulanut / haihtunut aines %
8	K11M	Omena	25 g	18,0 g	28,0 %
4	K112	Omena	25 g	18,2 g	27,2 %
6	K101	Omena	25 g	16,2 g	35,2 %
2	U10a	Omena	25 g	19,4 g	22,4 %
7	K11M	Mänty	25 g	15,8 g	36,8 %
3	K112	Mänty	25 g	15,6 g	37,6 %
5	K101	Mänty	25 g	15,0 g	40,0 %
1	U10a	Mänty	25 g	15,4 g	38,4 %

LIITE 21 Sähköpoltto II, 1250 °C, 20 minuuttia haudutus



Numero 1, kuppi ja kansi, U10a Mänty.



Numero 2, kuppi ja kansi, U10a Omena.



Numero 3, kuppi ja kansi, K112 Mänty.



Numero 4, kuppi ja kansi, K112 Omena.



LIITE 22 Sähköpoltto II, 1250 °C, 20 minuuttia haudutus



Numero 5, kuppi ja kansi, K101 Mänty.



Numero 6, kuppi ja kansi, K101 Omena.



Numero 7, kuppi ja kansi, K11M Mänty.



Numero 8, kuppi ja kansi, K11M Omena.

